



*Escuela Técnica Superior de  
Ingenieros de Caminos,  
Canales y Puertos.*

*UNIVERSIDAD DE CANTABRIA*



# **Desarrollo e implementación de una metodología para elaborar mapas de Oportunidad de Cultivo de vieira (*P. maximus*) y zamburiña (*M. varia*) en la Bahía de Santander**

Trabajo realizado por:

***Pablo Bernárdez Rosales***

Dirigido:

***Bárbara Ondiviela Eizaguirre***

***José Antonio Juanes de la Peña***

Titulación:

**Máster Universitario  
en Gestión Integrada  
de Sistemas Hídricos**

Santander, octubre de 2018

**TRABAJO FINAL DE MASTER**

# ÍNDICE

Resumen .....	3
Palabras clave .....	4
Abstract .....	5
Key words .....	6
1. Introducción.....	7
2. Material y métodos .....	10
2.1. Área de estudio .....	10
2.2. Datos y Metodología .....	12
2.2.1. Idoneidad Biológica .....	12
2.2.2. Idoneidad de Hábitat .....	15
2.2.3. Oportunidad de cultivo .....	17
3. Resultados.....	17
3.1. Idoneidad Biológica .....	17
3.2. Idoneidad de Hábitat.....	18
3.3. Oportunidad de cultivo.....	20
3.3.1. Vieira .....	23
3.3.2. Zamburiña.....	23
4. Discusión.....	23
5. Conclusiones .....	26
6. Bibliografía.....	27

## Resumen

Dada la actual preocupación por la crisis económica en Europa, y el crecimiento poblacional en zonas costeras que trae consigo el solapamiento de muchas actividades en el espacio marítimo (navegación, pesca, transporte, vertidos, turismo, etc.), el Parlamento Europeo elaboró la Directiva 2014/89/UE, de 23 de julio de 2014, por la que se establece un marco para la ordenación del espacio marítimo. Esta Directiva pretende fomentar el crecimiento de las economías marítimas, el desarrollo sostenible de los espacios marinos y el aprovechamiento sostenible de los recursos.

Concretamente, la acuicultura en España es una fuente económica de gran importancia, siendo el mayor productor de Europa en el año 2015. En prácticamente todo el litoral del país existen instalaciones acuícolas, pero en este caso el trabajo se centra en la comunidad autónoma de Cantabria, concretamente en la Bahía de Santander, donde se han dado evidencias de la presencia de dos especies de pectínidos, vieira (*Pecten maximus*) y zamburiña (*Mimachlamys varia*). Estas especies con gran demanda en el mercado no están siendo cultivadas comercialmente en la Bahía, lo que abre una oportunidad negocio en esta zona.

Por lo tanto, para tratar de contribuir tanto a la ordenación del espacio como a crear nuevas oportunidades de negocio, concretamente en el campo de la acuicultura, el objetivo del trabajo es desarrollar una metodología para elaborar mapas de zonas idóneas para el cultivo de vieira y zamburiña en la Bahía de Santander.

La metodología desarrollada incluye tres partes diferenciadas: el cálculo de la Idoneidad Biológica, el de la Idoneidad de Hábitat y, por último, la Oportunidad de Cultivo, como resultado de la integración entre ambas. El cálculo de la Idoneidad Biológica resultó en la elaboración de mapas con zonas óptimas para las especies, teniendo en cuenta la temperatura y la salinidad como variables determinantes de los diferentes procesos biológicos. Para ello, se calculó la probabilidad de ocurrencia de la variable (temperatura y salinidad) dentro de los rangos óptimos de cada especie, es decir, se realizó el porcentaje de las veces que la variable se encontraba dentro de estos rangos, teniendo en cuenta el total de los registros. Para extrapolar el resultado de la Idoneidad Biológica de cada estación a todo el área de la Bahía, se utilizaron dos métodos: los polígonos de Thiessen y la interpolación con Kriging. El resultado de aplicar estos procesos fueron cuatro mapas de Idoneidad Biológica, dos por cada especie. En el caso de la Idoneidad de Hábitat, tras aplicar una serie de criterios a factores condicionantes para el desarrollo óptimo de las especies (batimetría, estado de las masas de agua, tiempo de renovación, velocidad de la corriente y canales de navegación), se obtuvo un mapa de la Bahía con las zonas cultivables y no cultivables. La integración entre ambos procesos dio lugar a cuatro mapas de Oportunidad de Cultivo, dos por cada especie. Todos los cálculos espaciales se llevaron a cabo con el ArcMap 10.5.1 de ArcGIS.

En el caso de *Pecten maximus*, la zona con mayor Oportunidad de Cultivo se localiza en el área de influencia de la estación AB-BS20, con un valor de 74,2%, mientras que para *Mimachlamys varia*, se sitúa en el área de influencia de la estación AB-BS05S con un 76,1%. Para ambas especies, no se registraron diferencias significativas entre los resultados obtenidos con los dos métodos de interpolación aplicados.

La principal conclusión del estudio muestra que, en general, la Bahía de Santander presenta unas condiciones ambientales apropiadas para el cultivo de ambas especies, con una Oportunidad de Cultivo Alta, entre el 60% y el 80%, en, aproximadamente, un 30% de su superficie.

## **Palabras clave**

Mapas de cultivo, *Pecten maximus*, *Mimachlamys varia*, Bahía de Santander, polígonos de Thiessen, Kriging.

## Abstract

Due to the current situation of economic crisis in Europe and the population growth in coastal areas, which brings with it the overlapping of many activities in the maritime space (navigation, fishing, transport, dumping, tourism, etc.), the European Parliament elaborated the Directive 2014/89/EU, of July 23, 2014, which establishes a framework for the management of maritime space. This directive aims to promote the growth of maritime economies, the sustainable development of marine spaces and the sustainable use of resources.

Specifically, aquaculture in Spain is an economic source of great importance, being the largest producer in Europe in 2015. Almost the entire coast of the country has aquaculture facilities, but this work focuses on the autonomous community of Cantabria, specifically in the Bay of Santander, where there have been evidences of the presence of two species of the family Pectinidae, scallop (*Pecten maximus*) and *zamburiña* (*Mimachlamys varia*). These species with great demand in the market are not being produced in commercial aquaculture in the Bay, which opens a business opportunity in this area.

Therefore, in order to contribute both to the spatial planning and to create new business opportunities in the field of aquaculture, the objective of the work is to develop a methodology to prepare maps of suitable areas for the cultivation of scallops and *zamburiña* in the Bay of Santander.

The methodology developed includes three differentiated parts: the calculation of the Biological Suitability, the Suitability of Habitat and, finally, the Opportunity of Cultivation, as a result of the integration between both. The calculation of the Biological suitability resulted in the elaboration of the maps of optimal zones for the species, taking into account the temperature and the salinity as determining variables of the different biological processes. For this, the probability of occurrence of the variable (temperature and salinity) within the optimal ranges of each species was calculated, that is, the percentage of the times that the variable is kept within these ranges is shown, taking into account the total of the records. To obtain extrapolar results on the biological suitability of each station in the whole area of the Bay, two methods are used: the Thiessen polygons and the interpolation with Kriging. Finally, in this process, four biological identity maps were obtained, two for each species. In the case of the Suitability of Habitat, the application of a series of factors conditioning factors for the optimal development of the species (bathymetry, state of water bodies, renewal time, current speed and navigation channels), obtained a map of the Bay with the cultivable and non-cultivable areas. The integration between both processes gives rise to four maps Opportunity of Cultivation, two for each species. All spatial calculations were carried out with the ArcGIS Arc 10.5.1 map.

In the case of *Pecten maximus*, the area with the highest Opportunity of Cultivation is located in the area of influence of the AB-BS20 station, with a value of 74.2%, while for *Mimachlamys varia*, it is located in the area of influence of station AB-BS05S with 76.1%. In both cases, there were no significant differences between the results obtained with the two interpolation methods applied.

The main conclusion of the study shows that, in general, the Bay of Santander presents appropriate environmental conditions for the cultivation of both species, with a High Opportunity of Cultivation, between 60% and 80%, in approximately 30% of its surface.

## **Key words**

Crop maps, *Pecten maximus*, *Mimachlamys varia*, Bay of Santander, Thiessen polygon, Kriging.

# 1. Introducción

Este trabajo se enmarca dentro del crecimiento azul, estrategia a largo plazo de apoyo al crecimiento sostenible de los sectores marino y marítimo. El interés de incluir el proyecto en este ámbito es debido a que la economía azul de la Unión Europea (UE) representa 5,4 millones de puestos de trabajo y un valor añadido bruto de casi 500 000 millones de euros al año. Además, hay que tener en cuenta las problemáticas que ocasiona que, el 75% del comercio exterior de Europa y el 37% del comercio interior de la UE tengan lugar por vía marítima (Comisión Europea, 2012). Esta iniciativa reconoce la importancia de los mares y océanos como motores de la economía europea por su gran potencial para la innovación y el crecimiento. Es lanzada como resultado de la contribución de la Política Marítima Integrada en la consecución de los objetivos de la Estrategia Europa 2020 para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador. Esta estrategia sirve como marco de referencia para las actividades en los ámbitos de la Unión Europea, nacionales y regionales para lograr cumplir objetivos en campos como el empleo, la investigación y el desarrollo, el cambio climático, la energía, la educación y la pobreza. Profundizando en las medidas específicas de la Política Marítima Integrada, se tratan temas como el conocimiento marino para mejorar el acceso a la información sobre el mar; vigilancia marítima integrada para que las autoridades y gestores tengan un mejor conocimiento de lo que sucede en el mar; y por último, tema en cual se enmarca este trabajo de fin de máster, la ordenación del espacio marítimo cuya meta es conseguir que la gestión de las actividades en el mar sea eficaz y sostenible (Comisión Europea, 2012).

Concretamente para desarrollar esta última medida el Parlamento Europeo y el Consejo aprobaron la Directiva 2014/89/UE, de 23 de julio de 2014, por la que se establece un marco para la ordenación del espacio marítimo. En España, el Real Decreto 363/2017 publicado el 8 de abril de 2017, transpone esta Directiva. Estos documentos tienen como objetivo analizar y planificar los usos que tienen lugar en el espacio marítimo, evitando conflictos y riesgos tanto económicos como ambientales, promoviendo el aprovechamiento sostenible del espacio y los recursos. Con estas medidas se trata de contribuir a la salida de la crisis económica que actualmente sufre Europa. Entre esos usos se encuentran, la pesca, rutas de transporte y tráfico marítimo, zonas de vertido, zonas de extracción, tendidos de cables y tuberías submarinos, actividades turísticas recreativas, culturales deportivas, y la acuicultura. Según la Directiva de ordenación del espacio marítimo, los diferentes departamentos ministeriales deben realizar un inventario de la distribución de las actividades y usos. Esta información se remitirá a la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar que será la encargada de realizar una propuesta de Plan de Ordenación para cada demarcación marina. Dichos planes deberán ser elaborados antes del 2021.

Uno de los pilares de la economía azul y en el que se centra este trabajo es la acuicultura. Entre los principales problemas del planeta de cara al futuro se encuentra la alimentación de los casi 10.000 millones de habitantes que se prevé que tenga la Tierra en 2050. La maricultura, en el contexto del cambio climático, es la forma más eficiente de obtener alimentos ya que no requiere agua dulce

(APROMAR, 2017). España, dentro de la UE, fue en 2015 el mayor productor acuícola, con 289.821 toneladas equivalentes a un 22.3% del total de la UE. De esa producción, la mayor parte fueron moluscos bivalvos con un total de 227.000 toneladas, de las cuales el 99% es mejillón (Figuera, 2017).

Este trabajo se centra en la Bahía de Santander, ubicada en la comunidad autónoma de Cantabria. En esta región la acuicultura está presente desde finales del siglo XIX, época en la que se concedieron permisos de ostricultura a particulares. Posteriormente, se desarrollaron cooperativas de mariscadores y cultivadores que se dedicaron al cultivo de algunas especies marinas. Ya en 2013, se aprobaron 13 nuevas autorizaciones para la producción de moluscos. Con ello, en la actualidad existen en Cantabria 21 instalaciones acuícolas, tanto marinas como continentales. Las especies más importantes en el cultivo de peces son el rodaballo, la lubina y la dorada. También se producen especies de moluscos entre las que se encuentran la almeja, las ostras y los muergos (MAGRAMA, 2015).

Sin embargo, otras especies de bivalvos, como vieira (*Pecten maximus*; Fig.1A) y zamburiña (*Mimachlamys varia*; Fig.1B), con gran demanda en el mercado (González, 2012), todavía no están siendo producidas en acuicultura comercial (zamburiña; Rathman, 2017), o su producción ha sido mínima como es el caso de la vieira en Galicia, donde el cultivo se ha realizado a pequeña escala capturando ejemplares salvajes y realizando el engorde en batea, con el fin de disponer de producto durante las épocas de veda. Este cultivo cesó por la detección de toxinas amnésicas en los ejemplares (González, 2012). El interés comercial del cultivo de estas especies y las evidencias de su presencia en la Bahía de Santander (Com. Personal) justifican que este trabajo se haya centrado en estas dos especies.



Figura 1. A) Valvas de *Pecten maximus* (Vieira). B) Valvas de *Mimachlamys varia* (Zamburiña) (Modificado de González, 2012).

Ambas especies pertenecen a la misma familia Pectinidae, pero si nos centramos en la morfología, *Pecten maximus* (Linnaeus, 1758) comúnmente conocida como vieira, es un bivalvo más grande y robusto. Puede alcanzar una edad de hasta 20 años (Minchin, 1978). Tiene por lo general un crecimiento lento, y tardan aproximadamente 4 años en alcanzar la talla comercial de 10 cm, aunque pueden llegar a medir 15 cm (González, 2012) (Fig.1A). Román et al., (1987) observaron que la vieira en las rías gallegas, mediante cultivo en suspensión en bateas, puede alcanzar la talla comercial en 24-30 meses.

Con respecto a su distribución, se encuentra a lo largo de la costa este del Atlántico norte, desde Noruega a Marruecos, llegando al Mediterráneo



concretamente hasta el Mar de Alborán (Fig.2) (González, 2012). En relación con su hábitat en la columna de agua, esta especie es abundante en profundidades entre los 10 y 40 metros (Mason, 1983). La salinidad debe sufrir pocas variaciones, y suele presentarse en aguas con salinidad mayores a 30 psu (Strand et al., 1993). Habita aguas generalmente frías, de entre 8 y 17 °C, también deben de ser claras y con altas concentraciones de oxígeno, proporcionadas por una velocidad de la corriente adecuada (González, 2012). El sustrato en el que se desarrolla suele ser en la zona litoral, con sedimento blando sin excesivo fango (González, 2012).

En el caso de *Mimachlamys varia* (Linnaeus 1758), conocida vulgarmente como zamburiña, la edad máxima que puede alcanzar es de 9-10 años, llegando a medir 80 mm (Dalmon, 1935), por lo que suelen ser de menor tamaño que las vieiras. La altura comercial de 40 mm la pueden alcanzar aproximadamente en un año y medio (Dalmon, 1935) (Fig.1B).

Su distribución geográfica es a lo largo de la costa este del Atlántico norte, Mediterráneo y también por la costa Atlántica de África hasta Senegal (González, 2012) (Fig.2). Con respecto a su hábitat natural, su rango batimétrico es de 0-50 m (De la Roche y Velasco, 2008). Al igual que la especie descrita anteriormente, habita aguas limpias y con salinidades altas. El sustrato en el que suelen encontrarse va desde fondos irregulares duros a arenosos. Habitan en aguas con temperaturas no muy elevadas y corrientes moderadas, siendo las zonas protegidas del oleaje las más apropiadas para su supervivencia (González, 2012; Lucas, 1965).

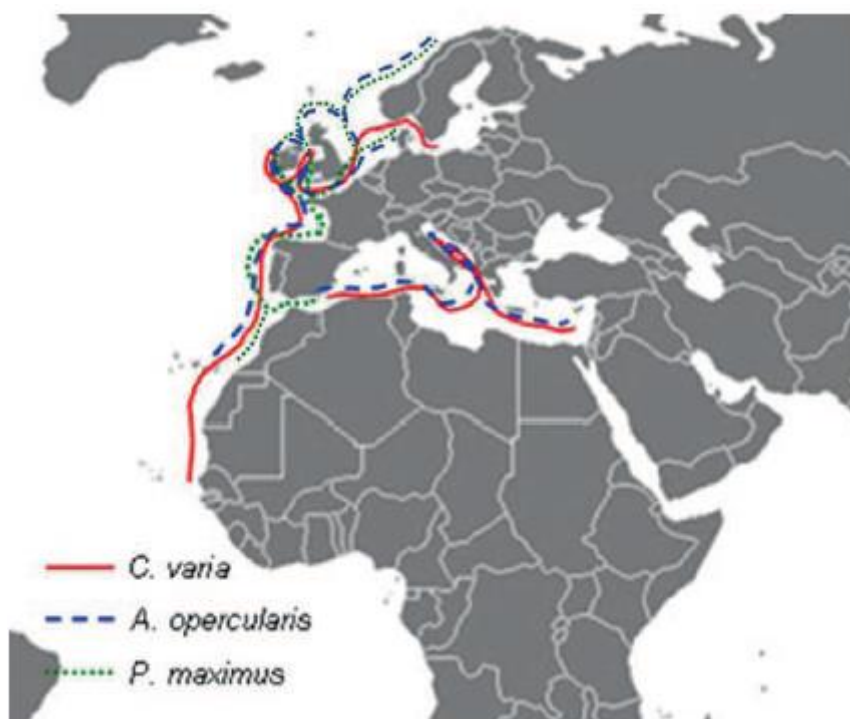


Figura 2. Mapa de distribución geográfica de tres especies de bivalvos: Línea roja corresponde con *Mimachlamys varia*, la línea rayada azul corresponde a *Aequipecten opercularis*, y la línea de puntos verde con *Pecten maximus*. (Fuente: González, 2012)

Teniendo en cuenta lo explicado en los párrafos anteriores, los objetivos de este trabajo son los siguientes:

- Desarrollar una metodología para elaborar mapas de zonas idóneas para el cultivo de *Pecten maximus* y *Mimachlamys varia* en la Bahía de Santander.
- Obtener una valoración general de la oportunidad de cultivo para estas dos especies en la Bahía.

Cumpliendo estos objetivos se tratará de facilitar la gestión en el ámbito de la ordenación del espacio marítimo de la Bahía de Santander, concretamente en el ámbito de la acuicultura, y aportar también herramientas en la búsqueda de nuevas oportunidades de actividad económica explotando especies no cultivadas hasta el momento, o con una explotación mínima en el pasado, al menos en España.

## 2. Material y métodos

### 2.1. Área de estudio

El área de estudio es la Bahía de Santander (Cantabria, Norte de España; Fig.3). Se trata del estuario más grande de Cantabria con una superficie de 2346 ha y un perímetro de 90 Km. Los rellenos en la margen oeste de la ciudad y los dragados periódicos de la canal de navegación condicionan en gran medida la morfología y funcionalidad de la Bahía. El 67% del área total es zona intermareal y se concentra principalmente en los páramos situados en su margen oriental (Fig. 3).



Figura 3. Situación geográfica de la Bahía de Santander en España. El polígono amarillo representa la canal de navegación, el verde la zona de páramos intermareales, y el azul el río Miera.

El río Miera, que desemboca en la margen este de la Bahía (Fig.3), es el principal aporte de agua dulce en el estuario y su caudal medio anual es de 8,2 m<sup>3</sup>/s. Esta desembocadura recibe el nombre de ría de Cubas. Otros aportes fluviales de menor caudal se producen en la zona más interna de la Bahía por las rías de Boo, Solía y Tijero. La ría de Cubas presenta un ZEC (Zona de Especial Conservación)

denominada “*Dunas del Puntal y Estuario del Miera*” (Disponible en: <http://rednatura2000cantabria.ihcantabria.com>).

El clima marítimo de la Bahía de Santander es el característico de la zona del Golfo de Vizcaya. Vientos dominantes del O-NO, O-SO y E-NE, con velocidades medias máximas en torno a los 20 km/h y mínimas en torno a 1 m/s. La dirección del viento predominante en estas latitudes está estrechamente ligada a la estacionalidad, de manera que durante el otoño y el invierno son los vientos del O y SO los más frecuentes, mientras que en la época estival destacan los procedentes del NE. El viento y la onda de marea son los factores que determinan en gran medida la hidrodinámica que caracteriza esta zona, predominando las corrientes de marea en la zona de la bocana.

Con el fin de poder realizar una gestión eficiente de la masa de agua de la Bahía, según dice el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental 2015-2021, la zona acuática de la Bahía se ha dividido en tres masas de agua, Santander-Interior, Santander-Páramos y Santander-Puerto (Fig.4). Este proceso de división se ha realizado siguiendo las directrices dadas por la Directiva Marco del Agua (DMA, Directiva 2000/60/CE) elaborada por el Parlamento Europeo, en la cual se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Siguiendo estas indicaciones, la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental y el Gobierno de Cantabria han determinado y expuesto en el plan hidrológico que todas las masas de agua de la Bahía de Santander son masas de agua muy modificadas, es decir que su característica principal es que han experimentado un cambio sustancial en su naturaleza como consecuencia de alteraciones físicas producidas por la actividad humana (Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental 2015-2021, (2015)).

Además, en el Plan Hidrológico se ha elaborado una metodología para poder clasificar el estado de las masas de agua. Por un lado, se analiza el potencial ecológico de las masas de agua muy modificadas y por otro el estado químico. Finalmente, el estado de una masa de agua queda determinado por el peor valor de su estado ecológico o de su estado químico. En este caso, en el Apéndice 7.11 del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental, clasifican el estado total de Santander-Puerto y Santander-Páramos como Bueno y Santander-Interior como No alcanza el Bueno.

Cabe destacar que a pesar de que la Bahía presenta un buen estado en la zona de páramos (margen este de la Bahía), se detectaron acumulación de materia orgánica, hidrocarburos y metales pesados en los sedimentos de las dársenas portuarias y algunas zonas del interior del estuario. Sin embargo, destaca la elevada riqueza y diversidad de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en los páramos intermareales, los fondos submareales de la canal de



navegación y de las dársenas portuarias (Instituto de Hidráulica Ambiental, 2011b).

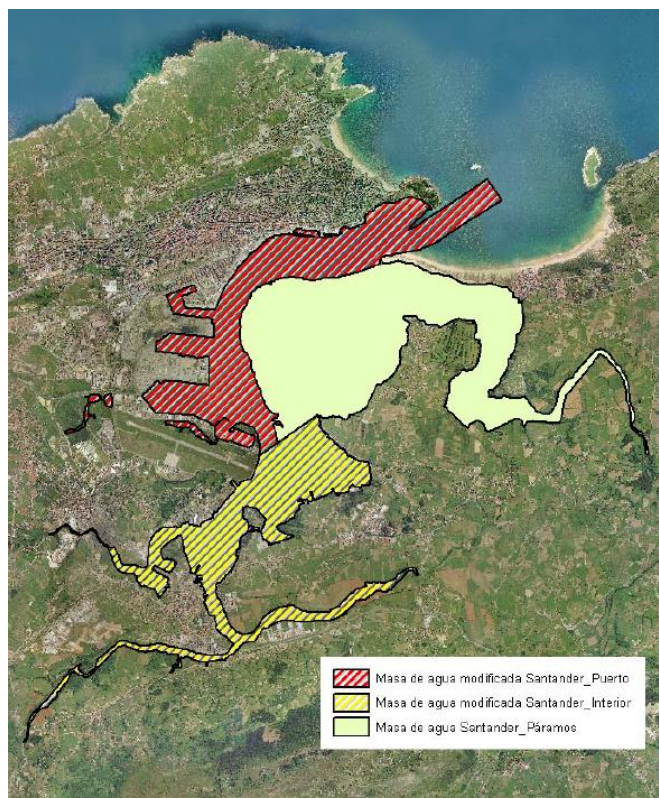


Figura 4. Mapa con la división geográfica de las masas de agua de la Bahía de Santander. Referencia: Instituto de Hidráulica Ambiental, 2011a.

## 2.2. Datos y Metodología

Para elaborar los mapas de las zonas óptimas para el cultivo de *Pecten maximus* y *Mimachlamys varia*, en este trabajo se ha dividido el procedimiento en tres procesos diferenciados, uno fue elaborar los mapas a los que se les denominó de Idoneidad Biológica para cada especie, otro elaborar los mapas denominados mapas de Idoneidad de Hábitat, y la integración de ambos mapas para obtener uno por especie denominado Oportunidad de Cultivo.

Cabe destacar que en este trabajo los resultados obtenidos son referentes a la fase de engorde de las especies, ya que la escasa bibliografía sobre la fase larvaria no mostraba rangos óptimos de las variables utilizadas en los pasos explicados a continuación.

Para el análisis y la elaboración de los mapas se utilizó el software de información geográfica ArcMap 10.5.1 de ArcGIS. Las capas (ráster, vector y puntos) utilizadas en el análisis y elaboración de los mapas, que se explican a continuación son cedidas por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria.

### 2.2.1. Idoneidad Biológica

Este paso consistió en elaborar mapas con zonas óptimas para el crecimiento y supervivencia de ambas especies.

- Variables y fuentes de información

Las variables escogidas para realizar el análisis fueron la temperatura y la salinidad, ya que varios autores resaltan que ambas son factores clave en el crecimiento de estas especies (Duncan et al., 2016; Chauvaud et al., 1998; Chauvaud et al., 2012; Rathman et al., 2017). En el caso de la zamburiña, Rathman et al. (2017) demuestra que, a pesar de ser variables críticas en el crecimiento, la temperatura tiene mayor efecto que la salinidad.

Laing (2000) sugiere que los nutrientes también es un factor limitante en el crecimiento, pero en este trabajo no se toman como variable a estudiar ya que no se encontraron valores en la bibliografía para determinar un rango óptimo para el crecimiento de las especies.

- Análisis de los datos

Los datos de temperatura y salinidad utilizados para este trabajo son los obtenidos por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IH Cantabria) en los muestreos periódicos realizados para el mantenimiento de La Red de Control de Calidad del Litoral de Cantabria, concretamente desde el 22 de noviembre de 2005 hasta el 8 de mayo de 2018. Esta red de control tiene un total de 23 puntos a los que se les agregó un punto adicional en los páramos intermareales (PÁRAMOS) ya que, esta zona tiene gran importancia dentro de la Bahía y no contaba con datos para representarla.

Calcular la Idoneidad Biológica de cada especie, requirió buscar en la literatura los rangos de valores para las dos variables estudiadas en los que el crecimiento de las especies era óptimo. De esta manera, se trató que los rangos óptimos de cada variable procediesen de estudios realizados en condiciones lo más parecidas posible a las de la zona de estudio. En el caso de la vieira se consideró el rango de temperatura de un estudio español realizado por González (2012), y el de salinidad de un estudio realizado en el Reino Unido por Laing (2002). Los umbrales para zamburiña fueron elegidos de un estudio llevado a cabo en el Mar Mediterráneo por Rathman (2017). Los rangos escogidos y sus fuentes se muestran en la Tabla 1.

	<i>Pecten maximus</i>	<i>Mimachlamys varia</i>
<b>Temperatura</b>	8-17 °C (1)	8-18°C (3)
<b>Salinidad</b>	28-35 (2)	25-35 (3)

Tabla 1. Rangos de temperatura y salinidad para el crecimiento óptimo de *Pecten maximus* y *Mimachlamys varia*. Referencias: (1) González, 2012; (2) Laing, 2002; (3) Rathman, 2017.

Para obtener el mapa de Idoneidad Biológica de cada especie se decidió calcular la probabilidad de ocurrencia de la variable, dentro de los rangos óptimos propios de cada especie, es decir, las veces que la variable (temperatura o salinidad) se encontraba dentro de los rangos óptimos teniendo en cuenta el total de registros. Esto se hizo para cada uno de los 18 puntos de muestreo utilizados finalmente (Fig.5). Los 6 restantes (AB-BS12, AB-BS14S, AB-BS16S, AB-BS17S, AB-BS19S y A-BS12) no se utilizaron debido a que presentaron menos de 10 registros para ambas variables en el periodo de datos disponible. Al punto de PÁRAMOS se le

asignó un valor promedio de sus puntos más cercanos, concretamente los puntos AB-BS04S, AB-BS05S, AB-BS21 y A-BS07.

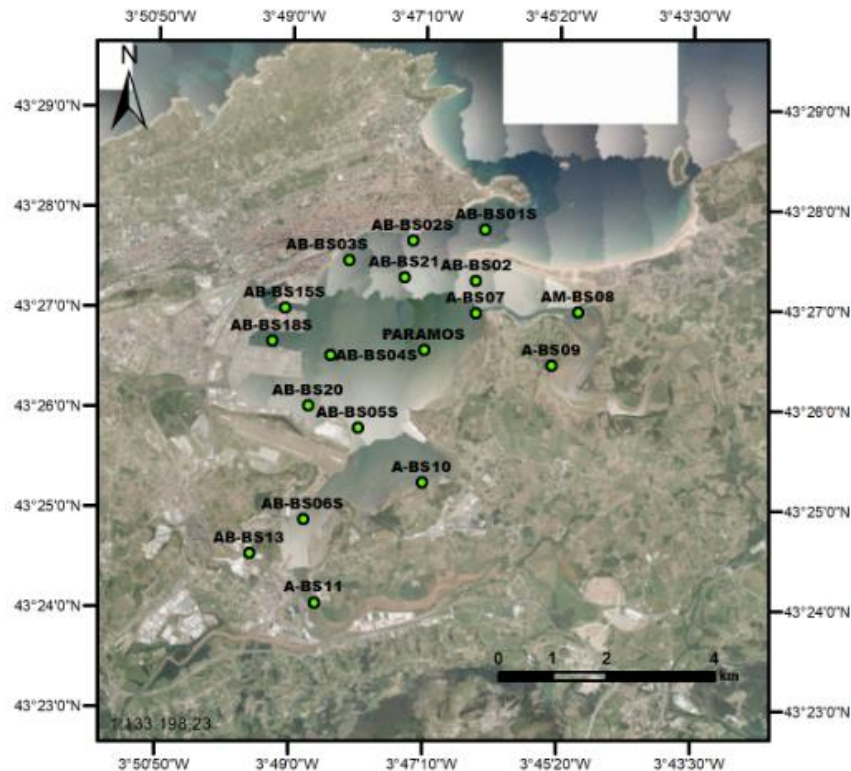


Figura 5. Mapa del área de estudio con las 18 estaciones de muestreo, incluyendo la creada adicionalmente en los páramos.

Cuando se obtuvieron las probabilidades de ocurrencia para cada variable y especie, ambas variables se integraron realizando el promedio entre la probabilidad de ocurrencia para la temperatura y la probabilidad de ocurrencia para la salinidad de cada especie independientemente, obteniendo de esta forma la Idoneidad Biológica.

- Evaluación de la Idoneidad

Una vez realizado el cálculo de la Idoneidad Biológica para cada punto de muestreo, se determinó el área de influencia de los mismos utilizando dos métodos diferentes.

a) Método con polígonos de Thiessen

Se realizó una división de la Bahía de Santander mediante polígonos de Thiessen tomando como puntos centrales de los polígonos las estaciones de muestreo. Este método geométrico es utilizado comúnmente en hidrología para conocer el área representativa de una estación pluviométrica, que en este caso se extrapoló a estaciones de muestreo. Para ello se utilizó una extensión en ArcMap llamada HEC-GeoHMS donde una de sus herramientas (Gage Thiessen Polygon) permite crear los polígonos de Thiessen forzando este proceso con un modelo digital de elevaciones (MDE), para tratar de homogeneizar cada polígono a un rango de alturas. En este caso en lugar del MDE se utilizó una capa de batimetría de la Bahía.

### b) Método con interpolación Kriging

Por otro lado, se realizó en ArcMap un proceso de interpolación llamado Kriging, que se trata de un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersos con valores  $z$ , en este caso la Idoneidad Biológica. Este método presupone que la distancia o dirección entre los puntos de muestra reflejan una correlación espacial que puede explicar la variación de la superficie. En este caso asumimos esta presuposición dado que el área de estudio tiene un tamaño relativamente pequeño y además los puntos de muestreo están medianamente cerca unos de otros, con lo que los valores entre vecinos no presentan valores muy dispares. El ráster resultante de este proceso presentaba un tamaño de celda de 25 m.

De esta manera, para cada especie se obtuvieron dos mapas de Idoneidad Biológica, uno realizado con el método de los polígonos de Thiessen y otro mediante la interpolación entre puntos de muestreo. Los valores obtenidos en ambos métodos van desde el 0% al 100%, y se dividieron en 5 clases, 0-20%, 20-40%, 40-60%, 60-80% y de 80-100%.

### **2.2.2. Idoneidad de Hábitat**

Para esta parte del análisis hay que tener en cuenta, además de las características hidrodinámicas y fisicoquímicas, el sistema de cultivo que se va a llevar a cabo. En este caso se propone un sistema long-line con cestas ostrícolas (Fig. 6A). Esta elección fue tomada debido a que, como demuestran Cano et al. (2006), este sistema de engorde para estas dos especies, desde un punto de vista biológico, es el que mejores resultados arrojó frente a otros sistemas de engorde probados. Estas cestas ostrícolas son cestas plásticas apilables divididas en cuarterones, en el caso de la figura 6A son de 40 cm de diámetro y 8 cm de altura, dimensiones que son simplemente una sugerencia, ya que hay otros instrumentos de engorde para estas especies con sistemas similares y distintas dimensiones como son las “lantern net” que se muestran en el estudio de Laing (2002) (Fig. 6B). Que sean apilables permite que en zonas donde exista la posibilidad de que la columna de agua tenga poca profundidad, puedan superponerse un mayor o menor número de cestas, situación común en el área de estudio. Esto es una necesidad con este método de cultivo ya que, en el estudio de Cano et al. (2006), el cultivo de estas especies de pectínidos se realizan en zonas en las que las cestas están la totalidad del tiempo sumergidas.

Para lograr el objetivo, se escogieron las que se denominaron variables discriminatorias, es decir, variables comunes para ambas especies (batimetría, estado de las masas de agua, tiempo de renovación, velocidad de la corriente y canales de navegación). Cada variable se reclasificó en zona cultivable y no cultivable, en base una serie de criterios explicados a continuación.

- Batimetría

Teniendo en cuenta lo explicado anteriormente sobre el sistema de cultivo propuesto, lo que se ha hecho con la capa que contenía los datos de la batimetría, ha sido seleccionar como cultivables solo las zonas submareales, es decir, las



zonas que prácticamente en ningún momento se encuentran emergidas. Tras revisar la tabla de mareas en la zona de estudio, se le restó al valor máximo de la batimetría 5 m, ya que sería el valor correspondiente a un rango de marea en mareas vivas en la Bahía de Santander.

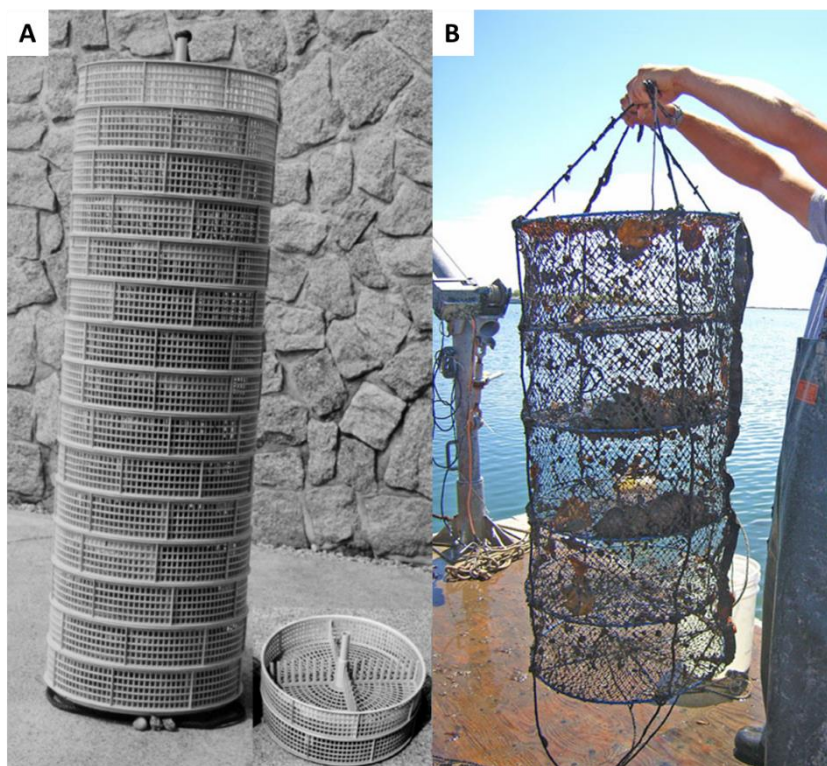


Figura 6. A) Cestas de cultivo. Referencia: Cano et al., 2006. B) Lantern net. Referencia: [http://netminder.us/portfolio\\_page/scallop-lantern-nets/](http://netminder.us/portfolio_page/scallop-lantern-nets/)

- Estado de las masas de agua

Otra de las variables incluidas en este análisis fue el estado de las tres masas de agua de la Bahía de Santander (Santander-Páramos, Santander-Interior, Santander-Puerto) teniendo en cuenta la definición de este concepto recogida en el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental 2015-2021. Debido a la complejidad del cultivo de estas especies, en este caso, se consideró que la masa de agua será cultivable cuando presente un estado total (integración del estado ecológico y químico) Bueno, y de esta manera trabajar con un nivel de confianza lo más significativo posible.

- Tiempo de renovación

También se utilizó el tiempo de renovación ya que es una variable indispensable para la renovación de oxígeno del agua y la llegada de nutrientes, entre otros factores. El criterio elegido de esta variable para poder determinar las zonas cultivables y no cultivables fue extraído de la Recomendación de Obras Marítimas y Portuarias 5.1-13 (ROM 5.1), en la cual para las aguas de transición muy modificadas se recomienda que con un valor de tiempo de renovación superior a siete días se categorice como una masa de agua con renovación baja, y un valor inferior a siete sea una masa de agua con renovación alta. Dado que en este tipo de cultivos la renovación puede ser un factor determinante en el buen crecimiento



de la especie, las masas de agua con alta renovación fueron clasificadas como cultivables y las de baja renovación como no cultivables.

- Velocidad de la corriente

Con respecto a la velocidad de la corriente, en este caso se recomienda que sea moderada o baja, ya que los pectínidos en general, en su hábitat natural prefieren zonas protegidas, poco expuestas al oleaje y con corrientes moderadas (Lucas, 1965). Además, Laing (2002) mantiene esta idea y añade que en los sistemas de cultivo en suspensión la velocidad de corriente más adecuada es entre 0,2 y 0,9 m/s, para que de esta forma la circulación del agua sea suficiente para suministrar la cantidad adecuada de nutrientes y oxígeno. Por eso en este caso el rango de valores elegidos para la zona cultivable fueron valores menores a 0,35 m/s, siendo este el valor medio entre 0,2 y 0,9. Los valores mayores a ese umbral en esta capa se categorizan como zonas no cultivables.

- Canal de navegación

El último elemento de análisis utilizado en esta metodología fueron las canales de navegación. Esta variable por si sola ya determina una zona no cultivable, ya que, no solo las dos actividades son incompatibles debido a la barrera que supondrían las estructuras flotantes, sino también debido a que en la Bahía estas canales son dragadas con cierta periodicidad lo que ocasionaría picos muy elevados de turbidez, provocando estrés a los individuos.

Por último, las zonas no cultivables de la Bahía serán la suma de todas las zonas no cultivables de cada variable. El proceso se repitió para las zonas cultivables.

### 2.2.3. Oportunidad de cultivo

Para concluir con la metodología, los mapas de Idoneidad Biológica obtenidos para cada especie y por cada método, se integraron mediante herramientas de análisis de ArcMap con las zonas cultivables y no cultivables, resultando dos mapas por cada especie, a los que se les denominó **Mapas de Oportunidad de Cultivo (OC)**. Al igual que los mapas de la IB, se dividieron en 5 clases de oportunidades de cultivo, 0-20% (Muy baja), 20-40% (Baja), 40-60% (Media), 60-80% (Alta) y 80-100% (Muy alta).

## 3. Resultados

A continuación, se muestran los resultados de los datos y la metodología expuesta en el apartado anterior.

### 3.1. Idoneidad Biológica

En primer lugar, se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la probabilidad de ocurrencia de la temperatura (POT<sup>a</sup>) y la salinidad (POS) para cada especie dentro de los rangos óptimos, y también la Idoneidad Biológica como integración de ambas mediante un valor promedio (Tabla 2). Como se puede observar, los valores de IB se mueven en un rango bastante estrecho, siendo el valor máximo 74,2% en la estación AB-BS20 y el mínimo 51% en la

estación A-BS09 en el caso de *Pecten maximus* (Vieira), y para *Mimachlamys varia* (Zamburiña) se obtuvo un valor máximo en la estación AB-BS05S de 76,1% y un mínimo de 55,7% correspondiente a la estación A-BS09, que coincide con la estación del valor mínimo en la vieira.

<b>Estación</b>	<b>POT<sup>a</sup> Vieira</b>	<b>POT<sup>a</sup> Zamburiña</b>	<b>POS Vieira</b>	<b>POS Zamburiña</b>	<b>IB Vieira</b>	<b>IB Zamburiña</b>
<b>AB-BS01S</b>	68,9	73,3	47,8	47,8	58,4	60,6
<b>AB-BS02</b>	73,5	76,5	51,5	51,5	62,5	64
<b>AB-BS02S</b>	69,8	69,8	55,8	60,5	62,8	65,1
<b>AB-BS03S</b>	70,7	73,2	56,1	56,1	63,4	64,6
<b>AB-BS04S</b>	67,4	67,4	73,3	73,3	70,4	70,4
<b>AB-BS05S</b>	66,7	72,7	79,4	79,4	73	76,1
<b>AB-BS06S</b>	63,6	68,2	77,3	79,5	70,5	73,9
<b>AB-BS13</b>	58,7	65,2	76,7	79,1	67,7	72,1
<b>AB-BS15S</b>	66,7	71,4	66,7	66,7	66,7	69
<b>AB-BS18S</b>	66,7	69	75,6	75,6	71,1	72,3
<b>AB-BS20</b>	72,7	75,8	75,8	75,8	74,2	75,8
<b>AB-BS21</b>	66,7	72,7	67,7	71	67,2	71,8
<b>A-BS07</b>	71,4	71,4	47,5	50	59,5	60,7
<b>A-BS09</b>	58,1	67,4	43,9	43,9	51	55,7
<b>A-BS10</b>	56,5	63	61,4	68,2	58,9	65,6
<b>A-BS11</b>	60,5	65,1	61	68,3	61	66,7
<b>AM-BS08</b>	65,2	71,7	59,1	63,6	62,2	67,7
<b>PARAMOS</b>	68	71,1	67	68,4	67,5	70

Tabla 2. Valores obtenidos para cada estación de, Probabilidad de Ocurrencia de la Temperatura (POT<sup>a</sup>) dentro de los rangos óptimos para vieira y zamburiña, Probabilidad de Ocurrencia de la Salinidad (POS) para vieira y zamburiña, y también la Idoneidad Biológica (IB) para las dos especies.

Los mapas obtenidos de la representación de la IB por los dos métodos explicados anteriormente, Polígonos de Thiessen (Fig.7) e interpolación por el método Kriging (Fig.8), muestran que no hay demasiada diferencia para una misma especie entre el resultado espacial obtenido por los dos métodos. Tal vez las diferencias más notables entre los dos métodos son en el caso de la vieira, ya que el área de influencia de las estaciones A-BS07 y A-BS10 con el método de Thiessen tiene una extensión mayor que con el método de interpolación.

### 3.2. Idoneidad de Hábitat

Con todos los procesos realizados en el análisis, finalmente se obtuvo un mapa vector con las zonas cultivables y no cultivables de la Bahía de Santander.

En el caso de la batimetría, teniendo en cuenta que el rango mareal máximo en la Bahía puede ser 5 m aproximadamente y sabiendo que la batimetría utilizada tiene valores desde 3 m hasta -17,43 m, la resta entre el valor máximo de la batimetría utilizada (3 m) y el rango mareal elegido, da lugar a un mapa en el que los valores de entre 3 y -2 m son las zonas no cultivables y los restantes son la zona submareal, que en este caso se denominó zona cultivable (Fig.9A). Se puede observar que las zonas no cultivables son básicamente las márgenes S y O de la

Bahía, en las que destaca la zona de los páramos intermareales y la desembocadura del río Miera.

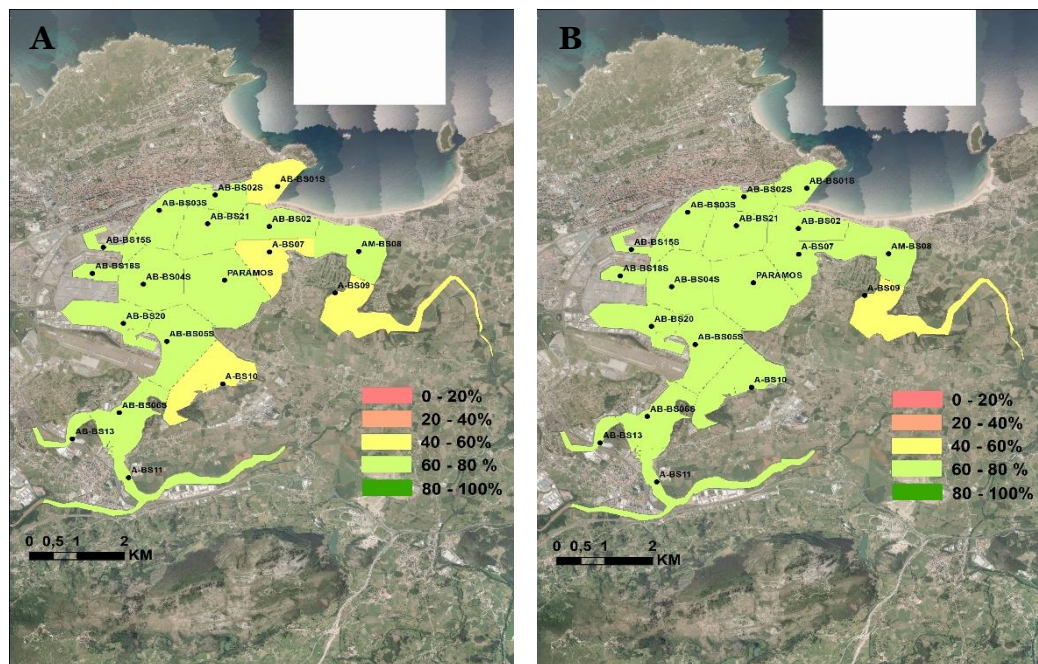


Figura 7. Mapas de Idoneidad Biológica elaborados con el método de los polígonos de Thiessen. A) Mapa de Idoneidad Biológica para el cultivo de vieira. B) Mapa de Idoneidad Biológica para el cultivo de zamburiña.

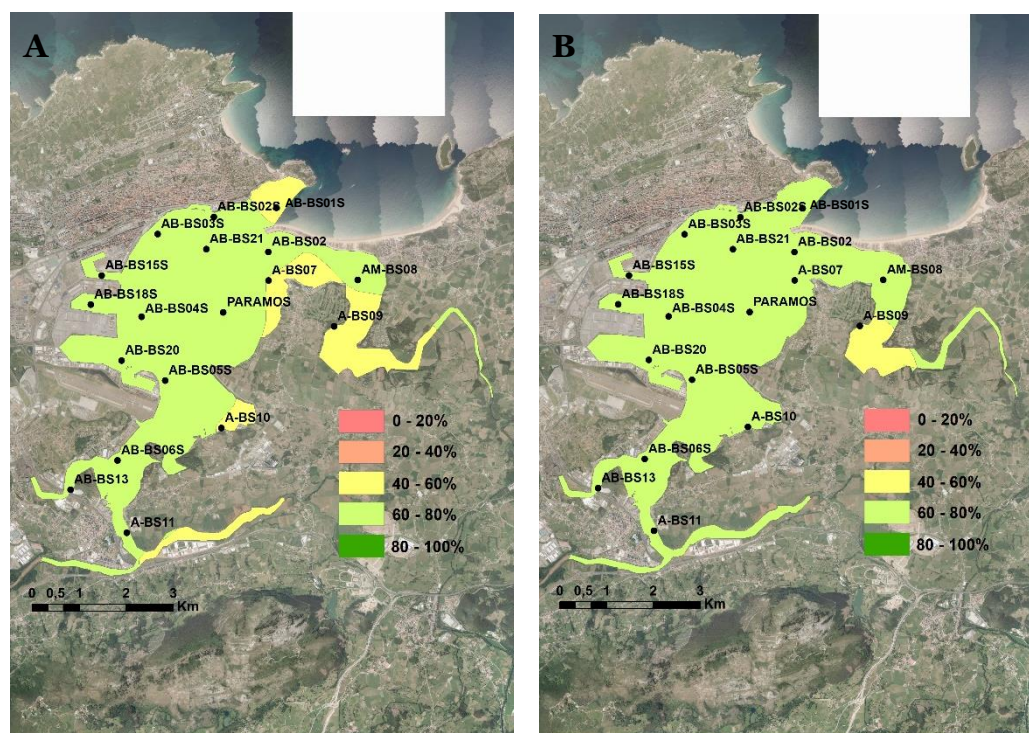


Figura 8. Mapas de Idoneidad Biológica elaborados con el método de interpolación Kriging. A) Mapa de Idoneidad Biológica para el cultivo de vieira. B) Mapa de Idoneidad Biológica para el cultivo de zamburiña.

Según el criterio adoptado en la metodología con respecto al estado de las masas de agua de la Bahía, se consideró como zona cultivable Santander-Páramos y Santander-Puerto, y como no cultivable la masa de agua Santander-Interior, ya que las dos primeras fueron clasificadas en el Plan Hidrológico de la Demarcación

Hidrográfica del Cantábrico Occidental como masas de agua en Buen Estado y Santander-Interior se clasificó como No alcanza el Buen estado (Fig.9B).

En la Figura 9C se muestra el mapa resultante de aplicar el criterio definido para el tiempo de renovación, con lo que las zonas con alta renovación (tiempo de renovación menor a 7 días) fueron tomadas como cultivables y las de baja renovación (tiempo de renovación mayor a 7 días) como no cultivables. En este mapa se puede observar que la única zona con renovación baja, es decir no cultivable, se encuentra en el Sur de la Bahía y se trata de la entrada de un río en el sistema estuarino.

El resultado de reclasificar el ráster de velocidad de la corriente, muestra que la mayor parte del área de la Bahía es cultivable (velocidades de la corriente iguales o menores a 0.35 m/s), siendo algunos pequeños polígonos situados en la bocana y en la desembocadura del río Miera los que no cumplen el criterio expuesto y por lo tanto son zonas no cultivables (Fig.9D).

En el mapa resultante de las canales de navegación (no cultivables) se puede observar que la principal zona de navegación es el margen oeste del área de estudio, y va de norte a sur de la misma. También aparecen unas canales más estrechas y cortas en la zona norte, que cruzan la Bahía (Fig.9E).

Tras la integración de todas las áreas cultivables y no cultivables de las variables anteriores, se obtiene el mapa de la Figura 9F, en el que se observa que gran parte de la Bahía es zona no cultivable, a excepción de un área central y algunos polígonos sueltos en la bocana, a lo largo de la desembocadura del río Miera y en una de las dársenas portuarias.

Del área total de la Bahía analizada, que es aproximadamente 22,2 Km<sup>2</sup>, 15,3 Km<sup>2</sup> es el correspondiente a la zona no cultivable, es decir que el 68.9% de la Bahía presenta algún impedimento que no haría posible un cultivo en suspensión para especies de pectínidos como son las especies a estudiar. Por lo tanto aproximadamente 6,9 Km<sup>2</sup> sería lo correspondiente a área cultivable (31,1 % del área total).

### **3.3. Oportunidad de cultivo**

Como resultado de la integración entre los mapas de Idoneidad Biológica y de Idoneidad de Cultivo, surgen cuatro mapas. Dos mapas para *Pecten maximus*, uno por cada método (Thiessen y Kriging) (Fig. 10A y 10B), y otros dos mapas para *Mimachlamys varia* (Fig. 11A y 11B).



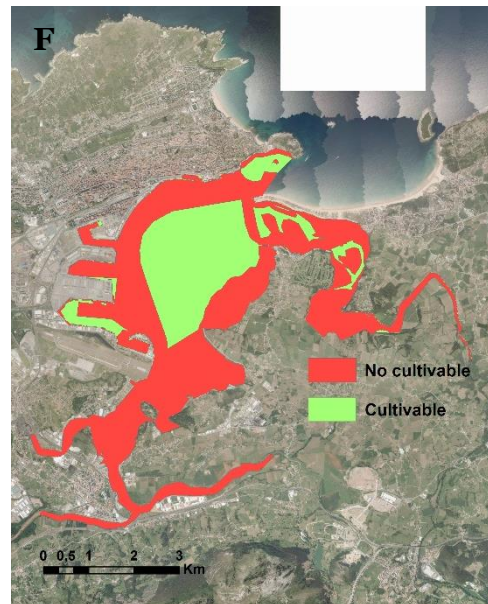
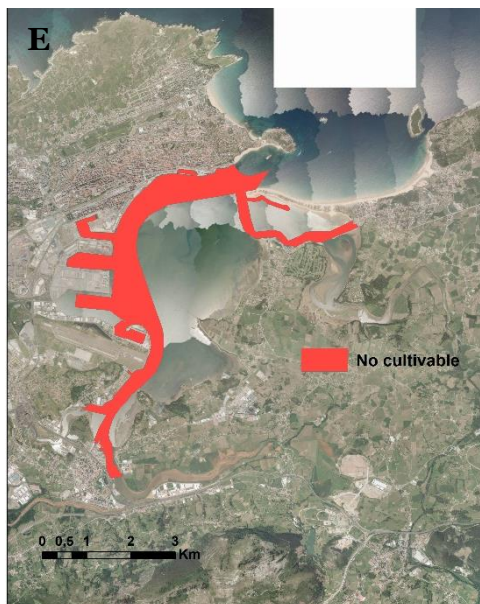
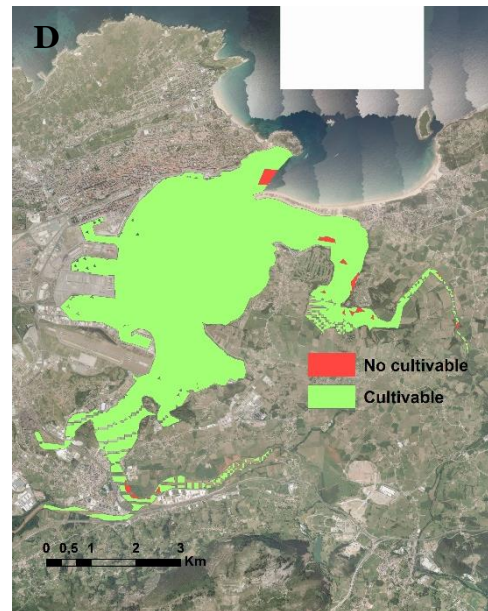
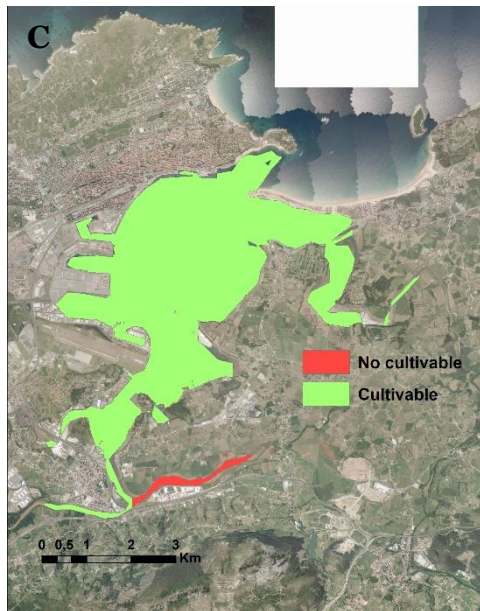
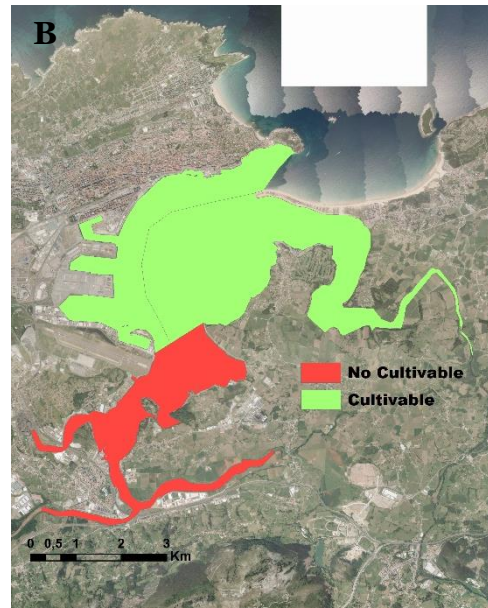
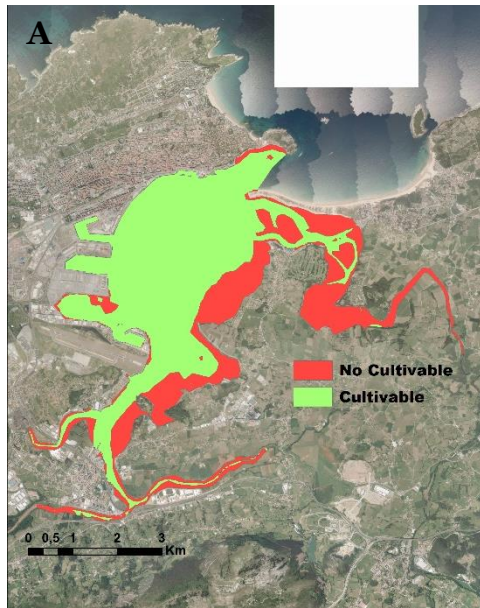


Figura 9. Mapas de zonas cultivables y no cultivables según la variable. A) Batimetría. B) Estado de las masas de agua. C) Tiempo de renovación. D) Velocidad de la corriente. E) Canales de navegación y dragado. F) Mapa final con la integración de todas las variables.



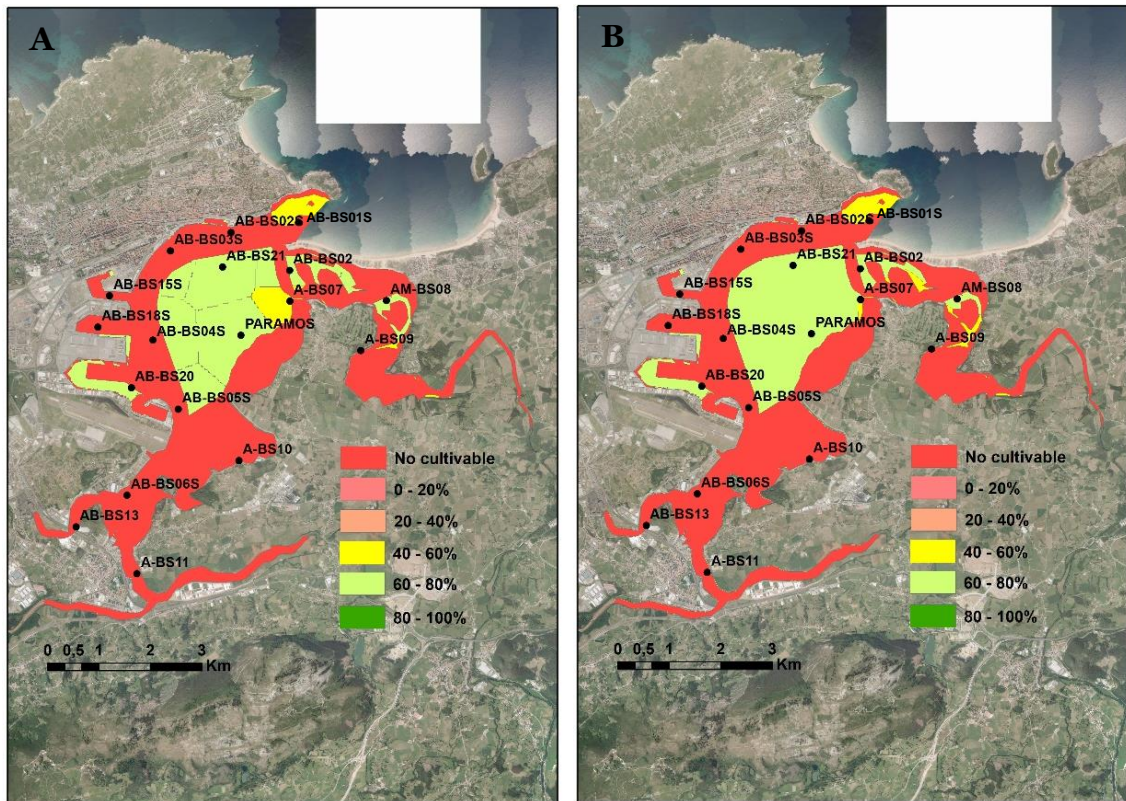


Figura 10. Mapas de Oportunidad de Cultivo para vieira (*P. maximus*). A) Idoneidad Biológica calculada con el método de los polígonos de Thiessen. B) Idoneidad Biológica calculada con interpolación de Kriging.

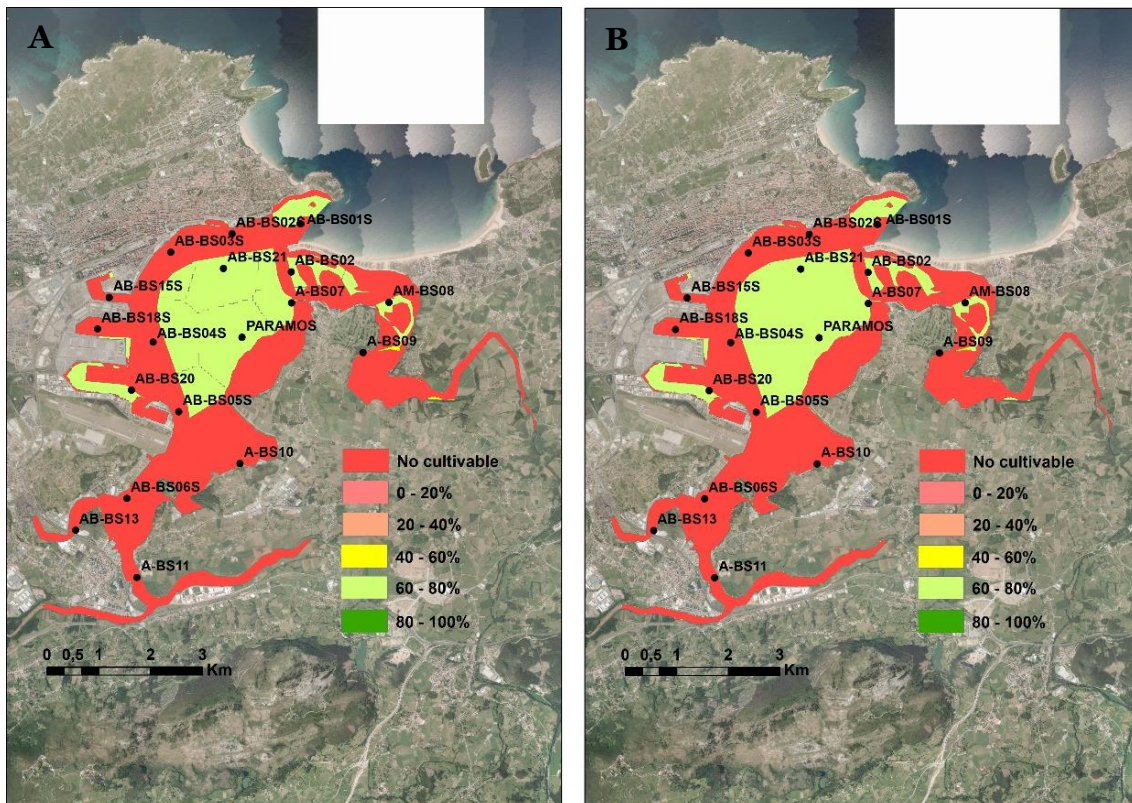


Figura 11. Mapas de Oportunidad de Cultivo para zamburiña (*M. varia*). A) Idoneidad Biológica calculada con el método de los polígonos de Thiessen. B) Idoneidad Biológica calculada con interpolación de Kriging.

### 3.3.1. Vieira

- Método de polígonos de Thiessen

Con el método de los polígonos de Thiessen (Fig.10A) el área cultivable con una Oportunidad de Cultivo (OC) de entre el 40% y el 60% (Media), es de 0,91 Km<sup>2</sup>, un 4% del área total de la Bahía de Santander. Aproximadamente 5,9 Km<sup>2</sup> (27% del área total) tienen una OC de entre 60% y 80%, es decir Alta. Esto quiere decir que prácticamente toda la zona cultivable de la Bahía de Santander tiene una OC Alta, y las zonas con una OC Media son las situadas en la bocana (estación AB-BS01S), un pequeño polígono en la zona de los páramos intermareales y también en el área de influencia de la estación A-BS09 (Río Miera).

- Método de interpolación

Los resultados obtenidos con el método de interpolación de Kriging (Fig.10B) para esta especie fueron muy similares, dando un área de 0,6 Km<sup>2</sup> (2,7% del área total) con una OC de 40-60% (Media), y los restantes 6,3 Km<sup>2</sup> (28,4 % del área total) del área cultivable presentaron una OC de entre 60 y 80% (Alta). Por lo que este método no muestra diferencias significativamente grandes con respecto a los resultados mostrados con los polígonos de Thiessen, ni a nivel de área ni a nivel espacial. La única zona que provoca las diferencias en los valores es la localizada entre la estación Páramos y la A-BS07, que en el caso del método de los polígonos de Thiessen es un poco más extensa y presenta una OC Media.

### 3.3.2. Zamburiña

- Método de polígonos de Thiessen

En el caso del método con los polígonos de Thiessen (Fig. 11A), el área con OC Media (40-60%) fue de 0,05 Km<sup>2</sup>, un 0,22% de la Bahía, y por otro lado se obtuvo 6,8 km<sup>2</sup> con una OC de 60-80%, es decir Alta, siendo esta última prácticamente la totalidad del área cultivable (30,6 % del área total de la Bahía).

- Método de interpolación

Con la interpolación Kriging (Fig.11B), el mapa arroja un resultado muy similar al anterior, siendo 0,01 Km<sup>2</sup> los que presentan una OC del 40-60% (Media). Por lo que para esta especie ambos métodos presentan cifras muy similares, y por lo tanto casi la totalidad del área cultivable de la Bahía de Santander (31 % del área total) presenta una OC Alta para la zamburiña.

## 4. Discusión

Para lograr alcanzar el objetivo de este trabajo de desarrollar una metodología con el fin de elaborar mapas con zonas idóneas para el cultivo en suspensión de *Pecten maximus* (vieira) y *Mimachlamys varia* (zamburiña) en la Bahía de Santander, se han tomado una serie de decisiones a lo largo del trabajo que se discutirán en este apartado.

En este estudio el cultivo elegido es un sistema long-line con el uso de cestas ostrícolas, que como ya se explicó anteriormente es el sistema de cultivo que

mostraron mejores resultados para estas especies con respecto a su crecimiento (Cano et al., 2006). Dado que el área de estudio está sujeta a una gran variabilidad con respecto a sus características hidrodinámicas y fisicoquímicas, esta eficiencia en el crecimiento justifica todos los inconvenientes que puedan surgir, como son el precio, o una densidad de cultivo por cesta inferior a otros sistemas.

A la hora de realizar el cálculo de la Idoneidad Biológica de las especies, ha surgido el inconveniente de que la zona de los Páramos intermareales de la Bahía, no contaba con puntos de muestreo suficientes. Para evitar que al realizar los cálculos, esta zona quedara insuficientemente representada y los resultados posteriores de IB tuvieran demasiada incertidumbre, se creó un punto de muestreo en esta zona al que se le asignó un valor promedio de IB de los puntos más cercanos. Este problema conduce a pensar que la mejor forma de prevenirlo en futuros estudios sería que se establecieran más estaciones de muestro en esta zona de la Bahía de Santander.

Otro tema a tratar con respecto a los datos resultantes de esta Red de Control, es que son tomados con muestreos estacionales, es decir se realizan 4 veces al año, que en el caso de este estudio puede ser una frecuencia suficiente. Pero en el caso de querer estudiar las variables más en detalle y de esta forma entender como afectarían a las dos especies los eventos extremos, se necesitaría una frecuencia de muestreo mayor. En el caso de la Bahía los eventos extremos son poco frecuentes y con duraciones de horas, y dado su confinamiento *a priori* no debería de afectar al sistema.

A la hora de seleccionar los rangos óptimos para cada especie y variable (temperatura y salinidad), se trató que para cada especie los rangos seleccionados de temperatura y salinidad procediesen de estudios realizados en zonas con características hidrológicas similares. En el caso de la vieira, la solución propuesta, explicada en material y métodos, fue seleccionar el rango de temperatura de una tesis realizada en Galicia (González, 2012), y la salinidad de un estudio realizado en el Reino Unido (Laing, 2002). En este caso dado que las características hidrológicas de ambas zonas donde habitan estas especies de pectínidos son similares, se asumió que no debería de afectar a una validación de la metodología desarrollada en este trabajo. Pero en el caso de la zamburiña, los rangos tomados para ambas variables proceden de un estudio realizado por Rathman, (2017) en el mar Mediterráneo, concretamente en Croacia. Este mar es conocido por presentar altos valores de salinidad, lo que podría condicionar a las especies que lo habitan, y por tanto a los rangos de esta variable elegidos para este trabajo. Por eso habría que tener en cuenta esta asunción a la hora de realizar un estudio experimental en la Bahía de Santander basándose en los mapas resultantes en este trabajo para esta especie. Dado que la acuicultura de pectínidos en España es muy reciente y está poco desarrollada (González, 2012), es normal que surjan estos problemas a la hora de seleccionar rangos óptimos de diferentes variables en este tipo de estudios. Estos inconvenientes se solucionarían con trabajos experimentales con estas especies en zonas del litoral español.



Dentro de los pasos para obtener los mapas de IB de las especies, una vez se tuvieron los valores de la probabilidad de ocurrencia de cada variable dentro de los rangos óptimos de cada especie, el siguiente paso para obtener la IB de cada especie, fue realizar un promedio entre la probabilidad de ocurrencia de la temperatura y la probabilidad de ocurrencia de la salinidad. Se barajó también la posibilidad que la IB fuese seleccionada por valor crítico, es decir, que entre la probabilidad de ocurrencia de la temperatura y de la salinidad se escogiera como valor de IB el menor, de esta forma los valores de IB obtenidos tendrían un criterio significativamente más seguro a la hora de poder llevar los resultados del trabajo a un diseño de cultivo experimental. Finalmente, esta decisión fue descartada ya que Rathman et al. (2017) demuestra que, a pesar de que ambas variables sean condicionantes en el crecimiento de especies de pectínidos, la temperatura tiene una mayor influencia que la salinidad; por lo tanto, si se aplica en este proceso la selección del valor crítico entre estas variables, en el caso de que en una estación el menor valor lo presentara la salinidad, este pasaría a ser el valor de la IB, y de esta manera se estaría quitando peso a la temperatura, siendo esta la variable más influyente en el crecimiento.

Dentro de las variables seleccionadas para el análisis de la Idoneidad de Hábitat se utilizó un ráster del tiempo de renovación y otro con la velocidad de la corriente, cuyos datos eran valores medios anuales. Por eso hay que tener en cuenta que se está perdiendo la información de la variabilidad y los eventos extremos en ambas variables, fundamental para la prevención de los riesgos en sistemas de cultivos como el que se trata en este trabajo. Para solucionarlo se debería hacer un análisis de extremos de las variables, incluyendo la temperatura y la salinidad, para conocer todos los supuestos eventos y consecuencias que puedan suceder en el área de estudio. De esta forma se podría tener conocimiento y poder elaborar planes de prevención en las zonas con gran idoneidad de cultivo y no cultivar en las que presenten cambios bruscos y/o frecuentes.

Observando los mapas de Oportunidad de Cultivo resultantes de realizar el análisis con la IB calculada con el método de los polígonos de Thiessen o con el método de interpolación de Kriging (Figs. 15 y 16), se puede decir que los resultados son bastante homogéneos entre los dos métodos para la misma especie. En consecuencia, no puede afirmarse que un método aporte mejores resultados que otro, siendo ambos válidos en esta metodología. La única forma de decidirlo sería teniendo datos de presencia y abundancia de las dos especies en la Bahía de Santander y validando los resultados arrojados por ambos métodos.

En estos mapas finales, una de las zonas comentadas en los resultados con OC de entre 40 y 60%, comunes en los resultados para ambas especies, se sitúan en el área de influencia de la estación A-BS09. Estos valores pueden ser debidos a que el punto de muestreo se encuentra en la ría de Cubas y desembocadura del río Miera, zona que presenta gran influencia fluvial. En el caso de la vieira también presenta OC del 40-60% en la zona próxima a los Páramos Intermareales a la que posiblemente le afecte la influencia del río. Otra zona que presenta estos valores de OC es en la bocana de la Bahía, área asignada a la estación AB-BS01S, que es la diferencia más significativa entre los valores obtenidos para zamburiña y vieira

independientemente del método utilizado (Thiessen o Kriging), y que puede ser debida a la diferencia entre los rangos biológicos óptimos de las especies.

Cabe destacar que los rangos de valores de la OC para ambas especies han oscilado entre el 40 y el 80%. La mayoría del área cultivable en la Bahía presentó una Probabilidad de Cultivo de entre el 60 y el 80% (Alta) para ambas especies. Concretamente para la vieira la OC más alta se alcanzó en el área próxima a la estación AB-BS20, con un valor de 74,2% (Tabla 2). Y en el caso de la Zamburiña fue en el área de influencia de la estación AB-BS05S donde se registró la mejor oportunidad de cultivo con un 76,1% (Tabla 2).

Se podría afirmar que, en general, la Bahía de Santander presenta una probabilidad de éxito en el cultivo de la vieira y la zamburiña alta. Teniendo en cuenta las limitaciones del trabajo, convendría realizar un cultivo experimental con estas dos especies en alguna de las zonas con mayor OC, y de esta manera poder validar la metodología expuesta y saber si realmente sería rentable llevar a cabo un cultivo acuícola comercial.

## 5. Conclusiones

La conclusión principal es que las condiciones en la Bahía de Santander son buenas para el cultivo de ambas especies, ya que presenta una Oportunidad de Cultivo Alta en prácticamente toda la zona cultivable de la Bahía,

Los resultados arrojados sugieren que la Bahía de Santander tiene una Oportunidad de Cultivo de estas especies de entre el 60 y el 80 % en aproximadamente en el 30% del área total. Para *Pecten maximus* la mayor Oportunidad de Cultivo se presenta en el área de influencia de la estación AB-BS20, con un valor de 74,2%, mientras que para *Mimachlamys varia*, se sitúa en la zona de influencia de la estación AB-BS05S con un 76,1% (Fig.2)

Con respecto a los métodos utilizados en el cálculo de la Idoneidad Biológica, los resultados en los mapas finales son muy similares entre ambos. Se puede concluir que ambos métodos respondieron bien al análisis en esta metodología. Las diferencias observadas entre los dos métodos, como en el caso de la vieira (Fig. 15), podrían explicarse con una validación de la metodología mediante un estudio experimental en las zonas de interés, como la bocana y los Páramos intermareales.

La fortaleza de los resultados mejoraría si se dispusieran de datos más antiguos, al menos, de dos décadas y de medidas más frecuentes.

## 6. Bibliografía

APROMAR (2017). La Acuicultura en España 2017.

Cano, J., Campos, M. J., López, F. J., & Saavedra, M. (2006). Utilización de distintos sistemas de engorde en el cultivo de vieira *Pecten maximus* (L., 1758), zamburiña *Mimachlamys varia* (L., 1758) y volandeira *Aequipecten opercularis* (L., 1758) en Andalucía (España). Boletín. Instituto Español de Oceanografía, 21(1-4), 283-291.

Comunicación de la Comisión: Crecimiento azul: Oportunidades para un crecimiento marino y marítimo sostenible. 2012. Comisión Europea

Chauvaud L, Patry Y, Jolivet A, Cam E, Le Goff C, et al. (2012) Variation in Size and Growth of the Great Scallop *Pecten maximus* along a Latitudinal Gradient. PLoS ONE 7(5): e37717. doi:10.1371/journal.pone.0037717

Chauvaud, L., Thouzeau, G., Paulet, Y.M., 1998. Effects of environmental factors on the daily growth rate of *Pecten maximus* juveniles in the Bay of Brest (France). J. Exp. Mar. Bio. Ecol. 227, 83-111.

Dalmon, J. (1935). "Note sur la biologie du pétoncle (*Chlamys varia* L.)." Rev. Trav. Off. Pêches marit. 8: 268-281.

De la Roche, J. P. & L. A. Velasco (2008). "Cultivo larvario de los pectínidos de interés comercial de Colombia." En: Velasco, L. A. (Ed.). "Biología y cultivo de los pectínidos de interés comercial de Colombia." UniMagdalena, Santa Marta, D. T. C. H. pp. 107-133.

Demarcación Hidrográfica del Cantábrico (2015). Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental 2015-2021. Memoria. Recuperado de: [https://www.chcantabrico.es/documents/20143/57474/1\\_MEMORIA.pdf/d6dedc5f-ob14-9fe7-c44e-08f3c55a4b20](https://www.chcantabrico.es/documents/20143/57474/1_MEMORIA.pdf/d6dedc5f-ob14-9fe7-c44e-08f3c55a4b20)

Duncan, P. F., Brand, A. R., Strand, Ø., & Foucher, E. (2016). The European scallop fisheries for *Pecten maximus*, *Aequipecten opercularis*, *Chlamys islandica*, and *Mimachlamys varia*. In *Developments in Aquaculture and Fisheries Science* (Vol. 40, pp. 781-858). Elsevier.

España. Real Decreto 363/2017, de 8 de abril, por el que se establece un marco para la ordenación del espacio marítimo. Boletín Oficial del Estado, 11 de abril de 2017, núm. 86.

Figuera Morales, R. (2017). Visión general del sector acuícola nacional – España, Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO.

González Iglesias, Paula. Estudio de la reproducción y reclutamiento de los pectínidos de interés comercial de las rías gallegas. 2012. Tesis Doctoral. Universidade de Santiago de Compostela.

Instituto de Hidráulica Ambiental. (2011a) Encomienda de Gestión para la realización del proyecto conjunto de Investigación titulado "Investigación

de Sistemas Hídricos de Cantabria (2010-2012)". Documento II. Programa de asistencia técnica en temas relacionados con la gestión de los sistemas hídricos. Tomo II. Documentación para la elaboración del plan hidrológico. Aguas costeras y de transición de Cantabria.

Instituto de Hidráulica Ambiental. (2011b) Encomienda de Gestión para la realización del proyecto conjunto de Investigación titulado "Investigación de Sistemas Hídricos de Cantabria (2010-2012)". Documento I. Mantenimiento de la Red de Control de Calidad del Litoral de Cantabria. Tomo I. Informe de síntesis de la red de control de calidad del litoral de Cantabria. 2009-2010.

Laing, I. (2000). Effect of temperature and ration on growth and condition of king scallop (*Pecten maximus*) spat. *Aquaculture* 183, 325-334.

Laing, I. (2002). Scallop cultivation in the UK: a guide to site selection. Centre for Environmental, Fisheries and Aquaculture Science, Dorset, United Kingdom: [https://www.cefas.co.uk/publications/files/scallop\\_cultivation.pdf](https://www.cefas.co.uk/publications/files/scallop_cultivation.pdf).

Lucas, A. (1965). "Recherche sur la sexualité des mollusques bivalves." Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Rennes (Francia). 136 pp.

Mason, J. (1983). "Scallop and queen fisheries in the British Isles." Fishing News Book Ltd. Farnham Surrey, England. 144 pp.

Minchin, D. (1978). "The behaviour of young scallops (*Pecten maximus* L. Pectinidae)." En: Proc. 2nd Scallop Workshop. 8-13 mayo. Brest (France).

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2015). Plan Estratégico Plurianual de la Acuicultura Española, 2014-2020. Documento de Planificaciones Estratégicas Autonómicas. Plan Estratégico de la Comunidad Autónoma de Cantabria.

Puertos del Estado (2013). Recomendación de Obras Marítimas (ROM) 5.1-13. Recomendación sobre la Calidad de las Aguas Litorales en Áreas Portuarias.

Rathman, M., Bolotin, J., Glavić, N., & Barišić, J. (2017). Influence of water depth on growth and mortality of *Chlamys varia* (Linnaeus, 1758): implications for cage culture in Mali Ston Bay, Croatia. *Aquaculture International*, 25(1), 135-146.

Román, G. & J. Cano (1987). "Pectinid settlement on collectors in Málaga, SE Spain, in 1985." En: Proc. 6th Int. Pectinid Workshop. 9-14 april. Menai Bridge, Wales (Reino Unido). p. 32.

Strand, Ø., P. T. Solberg, K. K. Andersen & Th. Magnesen (1993). "Salinity tolerance of juvenile scallops (*Pecten maximus*) at low temperature." *Aquaculture* 115: 169-179.

Unión Europea. Directiva (UE) 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco

comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial de las Comunidades Europeas L 327/1, 22 de diciembre de 2000.

Unión Europea. Directiva (UE) 2014/89 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de julio de 2014, por la que se establece un marco para la ordenación del espacio marítimo. Diario Oficial de la Unión Europea L 257/135, 28 de agosto de 2014.